

УДК 534.232

О.І. Дрозденко, канд. техн. наукНаціональний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»,
вул. Політехнічна, 16, Київ-56, 03056, Україна.

Теплові поля силових конструкцій циліндричних п'єзокерамічних електроакустичних перетворювачів

Розроблено методику розрахунку теплових полів сучасних конструкцій циліндричних п'єзокерамічних електроакустичних перетворювачів, яка враховує особливості конструкторської реалізації саме перетворювачів силового типу, зокрема циліндричних перетворювачів, які в своєму внутрішньому об'ємі містять додаткові конструктивні елементи. За розрахункові моделі взято системи з чотирьох та шести нескінченних за висотою шарів, кожен з яких моделює певний конструктивний елемент перетворювача. Знайдено розв'язок рівняння теплопровідності, який відповідає сформульованим граничним умовам. За результатами чисельних розрахунків проведено порівняльний аналіз особливостей теплових полів циліндричних п'єзокерамічних електроакустичних перетворювачів силових конструкцій та встановлено їх особливості у порівнянні з тепловими полями перетворювачів компенсованих конструкцій. Отримані результати можуть бути використані під час конструювання циліндричних п'єзокерамічних перетворювачів. Бібл. 15, рис. 5.

Ключові слова: п'єзокерамічний електроакустичний перетворювач; компенсована конструкція; силова конструкція; герметизація; рівняння теплопровідності; теплове поле.

Вступ

Електроакустичні перетворювачі є важливим вузлом електроакустичної апаратури, який забезпечує випромінювання та прийом акустичних коливань в різних середовищах: газах, рідинах та твердих тілах. П'єзокерамічні матеріали використовуються як активні елементи, що здійснюють взаємопов'язане перетворення різних видів енергії в широко розповсюдженому класі електроакустичних перетворювачів – п'єзокерамічних електроакустичних перетворювачах (ПЕП). Особливістю цих перетворювачів є те, що в процесі роботи на їх конструкції діють додаткові навантаження (зокрема, механічні, електричні, теплові), врахування впливу яких на довготривалу ефективну роботу ПЕП є досить складним інженерно-

науковим завданням. У зв'язку з тим, що в сучасних конструкторських розробках перетворювачів складаються тенденції до зростання потужностей та функціональних можливостей з одночасним зменшенням маси та габаритів ПЕП [1-5], дане завдання набуває особливої актуальності.

В літературі широко розглянуті методики розрахунку впливу ряду експлуатаційних навантажень – механічних, кавітаційних, електричних, теплових [1-3]. В той же час, поява нових конструкцій ПЕП, зокрема циліндричного типу [6-8], і подальше ускладнення вимог до умов їх експлуатації не дає можливості вважати ці методики універсальними. Цей факт обумовлює необхідність зосередитись на розробці нових методик розрахунку величин навантажень, які будуть враховувати конкретні конструкційні особливості ПЕП.

Одним з небезпечних видів навантажень, які можуть призвести до негативних наслідків (механічного пошкодження конструкції ПЕП, деполяризації активних елементів, порушення цілісності паяного монтажу, втраті ізоляційних властивостей герметизуючими матеріалами, зміні параметрів п'єзокерамічних матеріалів) є теплові навантаження, які створюються нерівномірністю теплового поля конструкції ПЕП.

Оцінити теплове поле тієї чи іншої конструкції дуже важко, оскільки сучасні конструкції ПЕП містять певну кількість герметизуючих та ізолюючих шарів, крім того, на перетворювач в реальних умовах експлуатації діє багато випадкових факторів – температура оточуючого середовища, ефективність тепловідводу, зовнішній тиск, термін експлуатації приладу та ін. Є роботи, в яких наведені загальні методики розрахунків теплових полів та теплових навантажень конструкцій ПЕП [1-3]. Детально розглянуті теплові поля конструкцій циліндричних ПЕП компенсованого типу, герметизованих метало-полімерними шарами [9], а також теплові навантаження, в конструкціях ПЕП, герметизованих гумо-металевими шарами [10] та епоксидними компаундами [11]. В той же час, теплові поля циліндричних ПЕП силових конструкцій, не роз-

глядались. Крім того, останнім часом проводиться проектування циліндричних перетворювачів які в своєму внутрішньому об'ємі містять додаткові конструктивні елементи [6, 7].

Тому метою роботи є розробка методики розрахунку теплових полів сучасних конструкцій ПЕП циліндричного типу, та порівняльний аналіз особливостей цих полів за результатами проведених чисельних розрахунків.

1. Теплове поле циліндричного перетворювача силової конструкції

Циліндричний п'єзокерамічний перетворювач силової конструкції (рис. 1) складається з активного елемента 1, герметизованого шарами полімеру 2 та металу 3. Герметичність внутрішнього об'єму циліндра забезпечують дві кришки 4.

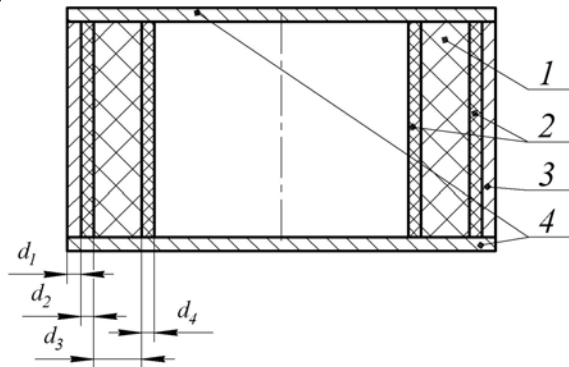


Рис. 1. Схематичне зображення циліндричного ПЕП силової конструкції

На відміну від компенсованої конструкції [9], теплове поле не буде симетричне відносно середнього радіуса перетворювача. Також умови відведення тепла від зовнішньої та внутрішньої поверхонь будуть різнитись, оскільки зовнішня бічна поверхня циліндра контактує з рідиною, а внутрішня – з газом.

Якщо відношення радіусів зовнішньої r_1 і внутрішньої r_2 циліндричних поверхонь $r_1/r_2 \leq 1,4$, то з похибкою, меншою 10 %, теплове поле нескінченного циліндра еквівалентне полю пластини [12]. Оскільки наведена умова для конструкцій циліндричних перетворювачів виконується завжди, то за розрахункову модель теплового поля такого ПЕП можливо прийняти теплове поле нескінченної пластини з тими ж граничними умовами та визначальними розмірами

Пропонується стратифікована модель (рис.2) для розрахунку теплового поля такого

перетворювача у вигляді системи з чотирьох нескінченних шарів, різної товщини $d_1..d_4$, кожен з яких характеризується своїми коефіцієнтами теплопровідності $\lambda_{T1}.. \lambda_{T4}$. Шари 1, 2 – зовнішні герметизуючі шари; 3 – активний елемент; 4 – внутрішній герметизуючий шар. Коефіцієнти тепловіддачі зовнішньої поверхні перетворювача у рідину – α_{T1} , внутрішньої у газ – α_{T4} . Джерелом виділення тепла є активний елемент, виготовлений з п'єзокераміки. Тепловиділення характеризується величиною об'ємної потужності джерел q_{V3} , міркування щодо визначення якої, викладені в [9].

Зауважимо, що дана модель не враховує відведення тепла через торцеві поверхні перетворювача. Однак, в остаточному підсумку, цей факт не зробить істотного впливу на кінцевий результат розрахунку, оскільки площа торцевої поверхні п'єзоелемента є набагато меншою, ніж площа його бічних поверхонь, до того ж, ця поверхня відділена від середовища ізолюючими матеріалами, що мають досить малі коефіцієнти теплопровідності.

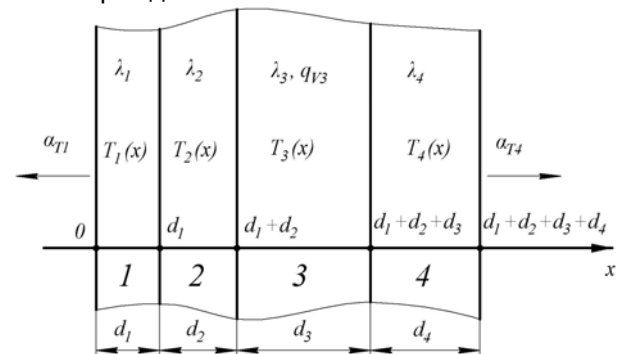


Рис. 2. Розрахункова модель циліндричного ПЕП силової конструкції

Теплове поле у випадку одновимірної задачі для стаціонарного режиму та багат шарової конструкції знайдемо як розв'язок рівняння теплопровідності [1, 12], записаного у вигляді:

$$\lambda_{T,i} \frac{d^2 T_i(x)}{dx^2} + q_{V,i} = 0, \quad (1)$$

де $T_i(x)$ – розподіл температури в i -му шарі вздовж вісі x

Температуру на зовнішній поверхні перетворювача, яка межує з рідиною позначимо T_{S1} , температуру на внутрішній поверхні перетворювача, яка межує з газом – T_{S4} , а температуру самого середовища – T_c .

Граничні умови:

1) теплові потоки на границях шарів рівні:

$$a) \lambda_{T1} \frac{dT_1(x)}{dx} \Big|_{x=d_1} = \lambda_{T2} \frac{dT_2(x)}{dx} \Big|_{x=d_1};$$

$$б) \lambda_{T2} \frac{dT_2(x)}{dx} \Big|_{x=d_1+d_2} = \lambda_{T3} \frac{dT_3(x)}{dx} \Big|_{x=d_1+d_2};$$

$$в) \lambda_{T3} \frac{dT_3(x)}{dx} \Big|_{x=d_1+d_2+d_3} = \lambda_{T4} \frac{dT_4(x)}{dx} \Big|_{x=d_1+d_2+d_3};$$

2) теплові потоки на границі тіла з середовищем рівні:

$$a) \lambda_{T1} \frac{dT_1(x)}{dx} \Big|_{x=0} = \alpha_{T1} (T_{S1} - T_c);$$

$$б) -\lambda_{T4} \frac{dT_4(x)}{dx} \Big|_{x=d_1+d_2+d_3+d_4} = \alpha_{T4} (T_{S4} - T_c);$$

3) температури на границях шарів рівні:

$$a) T_1(x) \Big|_{x=d_1} = T_2(x) \Big|_{x=d_1};$$

$$б) T_2(x) \Big|_{x=d_1+d_2} = T_3(x) \Big|_{x=d_1+d_2};$$

$$в) T_3(x) \Big|_{x=d_1+d_2+d_3} = T_4(x) \Big|_{x=d_1+d_2+d_3};$$

4) температури на поверхні перетворювача:

$$a) T_1(x) \Big|_{x=0} = T_{S1}; б) T_4(x) \Big|_{x=d_1+d_2+d_3+d_4} = T_{S4}.$$

Знайдемо розв'язок рівняння теплопровідності (1) для наступних інтервалів на вісі x , які відповідають кожному з шарів:

$$0 < x < d_1; T_1(x) = C_1 x + C_2; \quad (2)$$

$$d_1 < x < d_1 + d_2; T_2(x) = C_3 (x - d_1) + C_4; \quad (3)$$

$$d_1 + d_2 < x < d_1 + d_2 + d_3;$$

$$T_3(x) = -\frac{q_{V3}}{2\lambda_{T3}} \times \quad ; \quad (4)$$

$$\times (x - (d_1 + d_2))^2 + C_5 (x - (d_1 + d_2)) + C_6$$

$$d_1 + d_2 + d_3 < x < d_1 + d_2 + d_3 + d_4;$$

$$T_4(x) = C_7 (x - (d_1 + d_2 + d_3)) + C_8, \quad (5)$$

де $C_1 \dots C_8$ – невідомі константи, які разом із температурами поверхні T_{S1} та T_{S4} знаходяться з граничних умов.

Підставивши рішення (2) – (5) у граничні умови рівняння теплопровідності для окремих шарів перетворювача та виконавши певні перетворення одержимо:

$$T_{S1} = \frac{q_{V3} \left(\frac{d_3^2}{2\lambda_{T3}} + \frac{d_3 d_4}{\lambda_{T4}} + \frac{d_3}{\alpha_{T4}} \right)}{\alpha_{T1} \left(\frac{d_1}{\lambda_{T1}} + \frac{d_2}{\lambda_{T2}} + \frac{d_3}{\lambda_{T3}} + \frac{d_4}{\lambda_{T4}} + \frac{1}{\alpha_{T4}} \right) + 1} + T_c;$$

$$C_1 = \frac{\alpha_{T1}}{\lambda_{T1}} (T_{S1} - T_c); C_2 = T_{S1}; C_3 = C_1 \frac{\lambda_{T1}}{\lambda_{T2}};$$

$$C_4 = C_1 d_1 + C_2; C_5 = C_1 \frac{\lambda_{T1}}{\lambda_{T3}}; C_6 = C_3 d_2 + C_4;$$

$$C_7 = -\frac{d_3 q_{V3}}{\lambda_{T4}} + C_5 \frac{\lambda_{T3}}{\lambda_{T4}};$$

$$C_8 = -\frac{d_3^2 q_{V3}}{2\lambda_{T3}} + C_5 d_3 + C_6; T_{S4} = -\frac{\lambda_{T4}}{\alpha_{T4}} C_7 + T_c.$$

Температури в різних точках шарів перетворювача можна визначити за співвідношеннями (2) – (5), підставивши в них вирази для $C_1 \dots C_8$, T_{S1} , T_{S4} .

Для можливості порівняння кількісних результатів розрахунків теплового поля перетворювача силової конструкції з тепловим полем перетворювача компенсованої конструкції (на прикладі перетворювача герметизованого метало-полімерними оболонками рис. 3, а [9]), виконаємо обчислення за таких значень параметрів (рис. 3, б) [13, 14]:

- шар 1 – титан ВТ1-0, $d_1 = 1,5$ мм, $\lambda_{T1} = 16$ Вт/(м·К);
- шар 2 – матеріал АГ-4С, $d_2 = 1$ мм, $\lambda_{T2} = 0,315$ Вт/(м·К);
- шар 3 – п'єзокераміка ЦТБС-3, $d_3 = 8$ мм, $\lambda_{T3} = 1,9$ Вт/(м·К), $q_{V3} = 330 \cdot 10^3$ Вт/м³;
- шар 4 – матеріал АГ-4С, $d_4 = 1$ мм, $\lambda_{T4} = 0,315$ Вт/(м·К);
- температура оточуючого середовища $T_c = 20$ °С;
- коефіцієнт тепловіддачі зовнішньої поверхні $\alpha_{T1} = 350$ Вт/(м²·К) (взяте середнє значення для тепловіддачі метал – спокійна вода [15]);
- коефіцієнт тепловіддачі внутрішньої поверхні $\alpha_{T4} = 7$ Вт/(м²·К) (взяте середнє значення для тепловіддачі метал – повітря [15]);

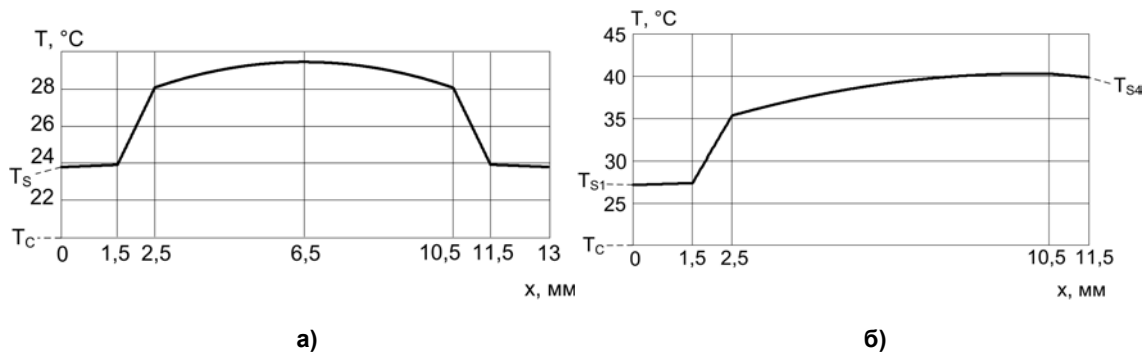


Рис. 3. Температурні поля циліндричного ПЕП компенсованої (а) та силової (б) конструкцій

Порівнюючи теплові поля циліндричного ПЕП компенсованої та силової конструкцій бачимо наступні відмінності:

- температура нагріву циліндричного ПЕП силової конструкції є суттєво більшою;
- теплове поле перетворювача силової конструкції несиметричне відносно середнього радіуса п'єзокерамічного елемента; максимум температури буде зміщений в сторону поверхні з меншою тепловіддачею (всередину перетворювача);
- подібний розподіл теплового поля перетворювача силової конструкції будуть мати конструкції вакуумованих перетворювачів, в яких відсутнє відведення тепла внутрішньою циліндричною поверхнею.

Окрім того, всередині ПЕП все ж існує ділянка, де є значний перепад температур, і де виникають значні температурні напруження, що

можуть призвести до порушення механічної цілісності перетворювача.

2. Теплове поле циліндричного перетворювача силової конструкції, який містить всередині додаткові елементи конструкції

З метою зменшення об'єму апаратури, особливо електронної були розроблені конструкції перетворювачів, які у внутрішньому об'ємі містять елементи та вузли електронного тракту [6,7]. Якщо проаналізувати вертикальний розріз конструкції такого перетворювача (рис. 4, а), то стає зрозуміло, що попередня модель з чотирма шарами вже не буде відповідати даним видам конструкцій перетворювачів. Тому для аналізу теплового поля таких конструкцій пропонується нова розрахункова модель, яка містить 6 шарів (рис. 4, б).

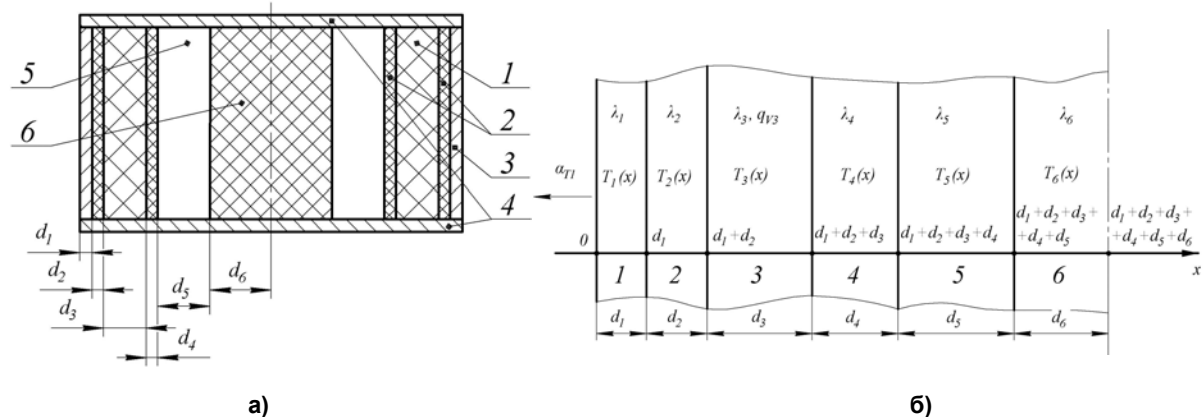


Рис. 4. Схематичне зображення циліндричного ПЕП з додатковими конструктивними елементами (а) та його розрахункова модель (б)

До відомих з рис. 1 конструктивних елементів 1 .. 4 додається внутрішній елемент конструкції 6 (електронний блок), між яким та внутрішньою поверхнею перетворювача знаходиться проміжне середовище 5 (газ).

Граничні умови задачі наступні:

1) теплові потоки на границях шарів рівні:

$$a) \lambda_{T1} \frac{dT_1(x)}{dx} \Big|_{x=d_1} = \lambda_{T2} \frac{dT_2(x)}{dx} \Big|_{x=d_1};$$

$$б) \lambda_{T2} \frac{dT_2(x)}{dx} \Big|_{x=d_1+d_2} = \lambda_{T3} \frac{dT_3(x)}{dx} \Big|_{x=d_1+d_2};$$

$$\begin{aligned} \text{в)} \quad \lambda_{T3} \frac{dT_3(x)}{dx} \Big|_{x=d_1+d_2+d_3} &= \\ &= \lambda_{T4} \frac{dT_4(x)}{dx} \Big|_{x=d_1+d_2+d_3} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{г)} \quad \lambda_{T4} \frac{dT_4(x)}{dx} \Big|_{x=d_1+d_2+d_3+d_4} &= \\ &= \lambda_{T5} \frac{dT_5(x)}{dx} \Big|_{x=d_1+d_2+d_3+d_4} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{д)} \quad \lambda_{T5} \frac{dT_5(x)}{dx} \Big|_{x=d_1+d_2+d_3+d_4+d_5} &= \\ &= \lambda_{T6} \frac{dT_6(x)}{dx} \Big|_{x=d_1+d_2+d_3+d_4+d_5} \end{aligned}$$

2) теплові потоки на границі тіла з середовищем рівні:

$$\text{а)} \quad \lambda_{T1} \frac{dT_1(x)}{dx} \Big|_{x=0} = \alpha_{T1} (T_{S1} - T_c);$$

3) температури на границях шарів рівні:

$$\text{а)} \quad T_1(x) \Big|_{x=d_1} = T_2(x) \Big|_{x=d_1};$$

$$\text{б)} \quad T_2(x) \Big|_{x=d_1+d_2} = T_3(x) \Big|_{x=d_1+d_2};$$

$$\text{в)} \quad T_3(x) \Big|_{x=d_1+d_2+d_3} = T_4(x) \Big|_{x=d_1+d_2+d_3};$$

$$\text{г)} \quad T_4(x) \Big|_{x=d_1+d_2+d_3+d_4} = T_5(x) \Big|_{x=d_1+d_2+d_3+d_4};$$

$$\begin{aligned} \text{д)} \quad T_5(x) \Big|_{x=d_1+d_2+d_3+d_4+d_5} &= \\ &= T_6(x) \Big|_{x=d_1+d_2+d_3+d_4+d_5} \end{aligned}$$

4) температура на поверхні перетворювача:

$$\text{а)} \quad T_1(x) \Big|_{x=0} = T_{S1};$$

5) температурне поле симетричне відносно середини перетворювача:

$$\text{а)} \quad \frac{dT_6(x)}{dx} \Big|_{x=d_1+d_2+d_3+d_4+d_5+d_6} = 0;$$

Розв'язки рівняння теплопровідності (1) для температур $T_1(x) \dots T_4(x)$ відповідають виразам (2) – (5). Решта температур:

$$\begin{aligned} d_1 + d_2 + d_3 + d_4 < x < d_1 + d_2 + d_3 + d_4 + d_5; \\ T_5(x) &= C_9 (x - (d_1 + d_2 + d_3 + d_4)) + C_{10}, \end{aligned} \quad (6)$$

$$\begin{aligned} d_1 + d_2 + d_3 + d_4 + d_5 < x < d_1 + d_2 + d_3 + d_4 + d_5 + d_6; \\ T_6(x) &= C_{11} (x - (d_1 + d_2 + d_3 + d_4 + d_5)) + C_{12}, \end{aligned} \quad (7)$$

де $C_9 \dots C_{12}$ – невідомі коефіцієнти, які разом із температурою поверхні T_{S1} знаходяться з граничних умов.

Підставивши рішення (2) – (7) у граничні умови рівняння теплопровідності для окремих шарів перетворювача та виконавши певні перетворення одержимо невідомі коефіцієнти:

$$T_{S1} = \frac{q_{V3} d_3}{\alpha_{T1}} + T_c; \quad C_1 = \frac{q_{V3} d_3}{\lambda_{T1}}; \quad C_2 = T_{S1};$$

$$C_3 = C_1 \frac{\lambda_{T1}}{\lambda_{T2}}; \quad C_4 = C_1 d_1 + C_2; \quad C_5 = C_1 \frac{\lambda_{T1}}{\lambda_{T3}};$$

$$C_6 = C_3 d_2 + C_4; \quad C_8 = -\frac{d_3^2 q_{V3}}{2 \lambda_{T3}} + C_5 d_3 + C_6;$$

$$C_7 = C_9 = C_{11} = 0; \quad C_{10} = C_{12} = C_8.$$

На основі одержаних співвідношень були виконані обчислення за таких же значень параметрів матеріалів, що і для попереднього перетворювача, додавши параметри шарів 5 та 6 (рис. 5) [13-15]:

- шар 5 – повітря, $d_5 = 4$ мм, $\lambda_{T5} = 0,026$ Вт/(м·К);
- шар 6 – гума, $d_6 = 4$ мм, $\lambda_{T6} = 0,14$ Вт/(м·К);
- температура оточуючого середовища $T_c = 20$ °С;
- коефіцієнт тепловіддачі зовнішньої поверхні $\alpha_{T1} = 350$ Вт/(м²·К).

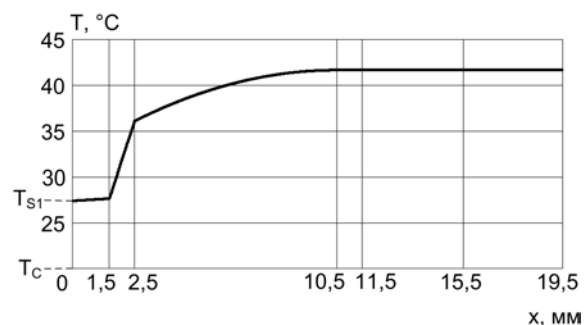


Рис. 5. Теплове поле циліндричного ПЕП силової конструкції з додатковими елементами, що містяться всередині нього

Теплові поля (рис. 3, а та рис. 5) перетворювачів силової конструкції мають схожий характер: розподіл температур нагріву та їх величини є майже однаковими; координата максимальної температури буде зміщена праворуч, ближче до центру ПЕП. Слід зазначити, що, згідно запропонованої методики, результуюче теплове поле не буде залежати від кількості та параметрів шарів, які розміщені всередині ПЕП ($C_7 = C_9 = C_{11} = 0$; $C_{10} = C_{12} = C_8$). Цей факт пояснюється відсутністю відведення теплоти від активного елемента у внутрішній закритий об'єм конструкції циліндричного ПЕП.

Висновки

На основі розв'язку рівняння теплопровідності знайдені аналітичні співвідношення для знаходження теплових полів циліндричних ПЕП, які враховують різні варіанти конструктивного виконання цих перетворювачів. Проаналізовано теплові поля перетворювачів силових конструкцій та встановлено їх особливості у порівнянні з перетворювачами компенсованих конструкцій, які необхідно враховувати під час розробки конструкцій таких ПЕП. Використовуючи запропоновану методику можливо розв'язати задачу знаходження теплових полів для конструкцій перетворювачів з будь якою кількістю ізолюючих та герметизуючих шарів.

В подальшому, для поглибленого аналізу теплових полів ПЕП, було б доцільно розглянути нестационарну задачу для різних варіантів конструкцій перетворювачів, визначивши час їх розігріву, а також врахувати втрати тепла через торцеві поверхні перетворювача.

Список використаних джерел

1. Подводные электроакустические преобразователи. (Расчет и проектирование): Справочник / В.В. Богородский, Л.А. Зубарев, Е.А. Корепин, В.И. Якушев. – Л.: Судостроение, 1983. – 248 с.
2. Дідковський В.С., Порошин С.М., Лейко О.Г., Лейко А.О., Дрозденко О.І. Конструювання електроакустичних приладів і систем для мультимедійних акустичних технологій. Навчальний посібник. – К.: НТУУ "КПІ", 2013. – 390 с.
3. Дідковський В.С., Лейко О.Г., Савін В.Г. Електроакустичні п'єзокерамічні перетворювачі (розрахунок, проектування, конструювання): Навчальний посібник. – Кіровоград: Імекс-ЛТД, 2006. – 448 с.
4. Хмелев В.Н., Барсуков Р.В., Цыганок С.Н. Ультразвуковая размерная обработка материалов: Научная монография/ Алт. гос. Техн. Ун-т. им. И.И. Ползунова. - Барнаул: изд. АлтГТУ, 1997. – 120 с.
5. Шарапов В.М., Мусиенко М.П., Шарапова Е.В. Пьезоэлектрические датчики / Под ред. В.М. Шарапова. – М.: Техносфера, 2006. – 632 с.
6. Меленко Ю.Я. Об одном подходе к построению круговых цилиндрических пьезокерамических преобразователей / Ю.Я. Меленко // Электроника и связь. – 2012. – №5(70). – С. 36-40.
7. Меленко Ю.Я. Об одном из путей управления резонансной частотой круговых цилиндрических преобразователей / Ю.Я. Меленко // Электроника и связь. – 2013. – №2(73). – С. 63-68.
8. Коржик О.В. Випромінення звуку циліндричним електропружним джерелом нульового порядку, яке розміщено в замкнутому пружному шарі / О.В. Коржик // Електроніка та зв'язок. – 2012. – №5(70). – С. 30-35.
9. Дрозденко О.І. Метод розрахунку температур розігріву конструкцій циліндричних електроакустичних перетворювачів компенсованого типу, герметизованих металополімерними шарами / О.І. Дрозденко // Electronics and Communications. – 2014, Vol. 19, №3(80) – Р. 88-93.
10. Дрозденко О.І. Метод розрахунку температурних напружень, які виникають в конструкціях п'єзоелектричних перетворювачів, герметизованих гумометалевими шарами / О.І. Дрозденко // Электроника и связь. – 2010. – №3(56). – С. 135-138.
11. Дрозденко О.І. Температурні напруження в конструкціях електроакустичних приладів, герметизованих епоксидними компаундами / О.І. Дрозденко // Електроніка та системи управління. – 2010. – №4(26). – С. 126-133.
12. Михеев М.А., Михеева И.М. Основы теплопередачи. Изд. 2-ое. – М.: Энергия, 1977. – 343с.
13. Физические величины: Справочник / А.П. Баби́чев, Н.А. Бабу́шкина, А.М. Братковский и др.; Под ред. И.С. Григорьева, Е.З. Мейлихова. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 1232 с.
14. Дідковський В.С. та ін. Практикум з технічної акустики: Навчальний посібник / за ред. В.С. Дідковського. – Київ: 2003. – 191 с.
15. Кухлинг Х. Справочник по физике: Пер. с нем. 2-е изд. – М.: Мир, 1985. – 520 с.

Поступила в редакцию 24 февраля 2015 г.

УДК 534.232

А.И. Дрозденко, канд. техн. наукНациональный технический университет Украины "Киевский политехнический институт",
ул. Политехническая, 16, Київ- 56, 03056, Украина.

Тепловые поля силовых конструкций цилиндрических пьезокерамических электроакустических преобразователей

Разработана методика расчета тепловых полей современных конструкций цилиндрических пьезокерамических электроакустических преобразователей, которая учитывает особенности конструкторской реализации именно преобразователей силового типа, в том числе, цилиндрических преобразователей, которые в своем внутреннем объеме содержат дополнительные конструктивные элементы. Расчетными моделями являются системы из четырех и шести бесконечных по высоте слоев, каждый из которых моделирует определенный конструктивный элемент преобразователя. Найдено решение уравнения теплопроводности, которое соответствует сформулированным граничным условиям. По результатам численных расчетов проведен сравнительный анализ особенностей тепловых полей цилиндрических пьезокерамических электроакустических преобразователей силовых конструкций и установлено их особенности по сравнению с тепловыми полями преобразователей компенсированных конструкций. Полученные результаты могут быть использованы при конструировании цилиндрических пьезокерамических преобразователей. Библ. 15, рис. 5.

Ключевые слова: пьезокерамический электроакустический преобразователь; компенсированная конструкция; силовая конструкция; герметизация; уравнение теплопроводности; тепловое поле.

UDC 534.232

O.I. Drozdenko, Ph.D.National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute",
st. Polytechnique, 16, Kyiv - 56, 03056, Ukraine.

Thermal fields of cylindrical piezoelectric electroacoustic transducers power constructions

The calculation method of modern designs cylindrical piezoelectric electroacoustic transducers thermal fields, which takes into account the implementation of the power converters type design, including cylindrical transducers, which contains additional structural elements in the internal volume is developed. A simulation model of the system are four and six layers of infinite height, each of which simulates a certain constructive transducer element. A solution of the heat equation, which corresponds to the formulated boundary conditions is found. According to the results of numerical calculations the comparative analysis of the cylindrical piezoelectric electroacoustic transducers power structures thermal fields is carried out and their features in comparison with the thermal fields of compensated structures transducers are established. The obtained results can be used in constructing of the cylindrical piezoelectric transducers. Ref.15, Fig. 5.

Keywords: piezoelectric electroacoustic transducer; the compensated construction; power construction; pressurization; heat equation; the thermal field.

References

1. Bogorodskiy V.V., Zubarev L.A., Korepin E.A., Yakushev V.I. (1983), "Underwater electroacoustic transducers. (Calculation and Design)". Handbook. L.: Sudostroenie. P. 248. (Rus.)
2. Didkovskiy V.S., Poroshin S.M., Leyko O.G., Leyko A.O., Drozdenko O.I. (2013), "Construction of electroacoustic devices and systems for multimedia acoustic technology". Textbook. K.: NTUU "KPI". P. 390. (Ukr.)

3. *Dldkovskiy V.S., Leyko O.G., Savln V.G.* (2006), "Electroacoustic piezoceramic transducers (calculation, design, construction)". Kirovograd: Imeks-LTD, P. 448. (Ukr.)
4. *Hmelev V.N., Barsukov R.V., Tsyiganok S.N.* (1997), "Ultrasonic size treatment of materials: the scientific monograph". Barnaul: izd. AltGTU. P. 120. (Rus.)
5. *Sharapov V.M., Musienko M.P., Sharapova E.V.* (2006), "Piezoelectric sensors". M.: Tehnosfera, P. 632. (Rus.)
6. *Melenko U.Y.* (2012), "An approach to the construction of circular cylindrical piezoceramic transducers". Electronics and Communications. No 5 (70), pp. 36-40. (Rus.)
7. *Melenko U.Y.* (2013), "On one of the ways to control the resonant frequency of circular cylindrical transducer". Electronics and Communications. No 2 (73), pp. 63-68. (Rus.)
8. *Korzhyk O.V.* (2012), "To the boundary conditions for problem of sound receiving by spherical electroelastic transducer with disconnecting electrodes". Electronics and Communications. No 5 (70), pp. 30-35. (Ukr.)
9. *Drozdenko O.I.* (2014), "Method of calculation of temperatures of warming-up of constructions of cylindrical electro-acoustic transducer of the compensated type, pressurized by the metal-polymer layers". Electronics and Communications. Vol. 19, №3 (80), pp. 88-93. (Ukr.)
10. *Drozdenko O.I.* (2010), "Method of calculation of thermal stresses arising in the construction of piezoelectric transducers, sealed rubber-metal layers". Electronics and Communications. No 3 (56), pp. 135-138. (Ukr.)
11. *Drozdenko O.I.* (2010), "Thermal stresses in the electro-acoustic devices, sealed in epoxy". Electronics and control systems. No 4 (26), pp. 126-133. (Ukr.)
12. *Miheev M.A., Miheeva I.M.* (1977), "Bases of heat transfer". M.: Energiya. P. 343. (Rus.)
13. *Babichev A.P., Babushkina N.A., Bratkovskiy A.M., Grigorev I.S. and others.* (1991), "Physical values: reference book". M.: Energoatomizdat. P. 1232. (Rus.)
14. *Dldkovskiy V.S. and others.* (2003), "Workshop on technical acoustics: Tutorial". Kiyiv: P. 191. (Ukr.)
15. *Kuhling H.* (1985), "Handbook on the Physics". M. Mir. P. 520. (Rus.)